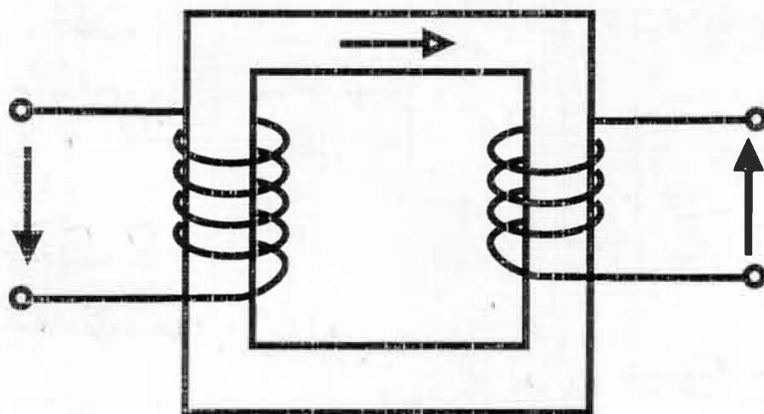


621.3
0-35

В. В. ОВЧАРОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Часть 1



2007г.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Часть I

Допущено Министерством аграрной политики Украины в качестве учебного пособия для подготовки бакалавров направления 0919 «Механизация и электрификация сельского хозяйства» (специальностей «Энергетика сельскохозяйственного производства» и «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства») в высших учебных заведениях II – IV уровней аккредитации Министерства аграрной политики Украины.

72312 МЕЛІТОПОЛЬ
Б·ХМЕЛЬНИЦЬКОГО 18
БІБЛІОТЕКА ТДАТУ

2007 г.

ББК 31.21я73

О-35

Рецензенты: Ю.М. Васецкий, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института электродинамики национальной академии наук Украины;

А.Д. Черенков, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической электротехники Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства.

Овчаров В.В.

О-35 Теоретические основы электротехники 2007. – 389 с.

В пособии на базе основных физических понятий и положений рассматриваются электрические цепи постоянного и синусоидального токов, методы их расчета с использованием символического (комплексного) анализа.

Для студентов высших учебных заведений II – IV уровней аккредитации.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть отображена в какой либо форме никакими способами без письменного согласия автора книги.

Содержание

Введение	6
Тема 1. ЛИНЕЙНЫЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	8
1.1 Явление электризации тел и закон сохранения заряда.....	8
1.2 Явление взаимодействия заряженных тел и закон Кулона.....	10
1.3 Явление электрического тока и закон Ома.....	18
1.4 Явление теплового действия электрического тока и закон Ленца–Джоуля.....	24
1.5 Электрическая цепь и её элементы.....	26
1.6 Принципиальная электрическая схема цепи.....	28
1.7 Расчётная схема электрической цепи.....	30
1.8 Расчёт неразветвлённой электрической цепи.....	30
1.9 Закон Ома для замкнутой электрической цепи с несколькими электродвижущими силами.....	38
1.10 Обобщённый закон Ома.....	40
1.11 Баланс мощностей.....	42
1.12 Линия электропередачи.....	46
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	50
Тема 2. ЛИНЕЙНЫЕ РАЗВЕТВЛЁННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	72
2.1 Законы Кирхгофа.....	72
2.2 Применение законов Кирхгофа для расчёта разветвленных цепей.....	74
2.3 Метод контурных токов.....	78
2.4 Метод узловых потенциалов.....	84
2.5 Эквивалентные преобразования схем соединений сопротивлений	92
2.6 Метод двух узлов.....	102
2.7 Метод активного двухполюсника.....	104
2.8 Принцип суперпозиции и его применение для расчёта цепей.....	110
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	116
Тема 3. НЕРАЗВЕТВЛЁННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	128
3.1 Основные физические понятия.....	128
3.2 Цепь переменного синусоидального тока с резистором.....	142
3.3 Цепь переменного синусоидального тока с идеальной катушкой.....	150
3.4 Цепь переменного синусоидального тока с идеальным конденсатором.....	158
3.5 Реальная катушка в цепи переменного синусоидального тока.....	166
3.6 Цепь переменного синусоидального тока с резистором и конденсатором.....	176
3.7 Цепь переменного синусоидального тока с последовательно соединёнными катушкой и конденсатором.....	184

3.8 Резонанс напряжений.....	19
3.9 Общий случай цепи переменного синусоидального тока.	20
3.10 Линия электропередачи.....	20
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	21
Тема 4. РАЗВЕТВЛЁННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	25
4.1 Электрическая цепь переменного синусоидального тока с параллельно соединёнными резистором и идеальной катушкой.....	25
4.2 Электрическая цепь переменного синусоидального тока с параллельно соединёнными резистором и идеальным конденсатором.....	26
4.3 Электрическая цепь переменного синусоидального тока с параллельно соединёнными резистором, идеальной катушкой и идеальным конденсатором.....	262
4.4 Эквивалентные расчётные схемы.....	268
4.5 Расчёт разветвлённых цепей методом проводимостей.....	272
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	280
Тема 5. СИМВОЛИЧЕСКИЙ (КОМПЛЕКСНЫЙ) МЕТОД РАСЧЁТА ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	292
5.1 Символическое изображение синусоидальных функций.....	292
5.2 Сложение и вычитание комплексных величин.....	296
5.3 Умножение и деление комплексных величин.....	298
5.4 Умножение вектора на j и на $-j$	300
5.5 Изображение производных и интегралов синусоидальных токов.....	300
5.6 Закон Ома в комплексной форме.....	302
5.7 Комплексная проводимость.....	306
5.8 Комплексные напряжения.....	308
5.9 Комплексные токи.....	310
5.10 Комплексная мощность.....	312
5.11 Законы Кирхгофа в комплексной форме.....	314
5.12 Методы расчёта цепей переменного синусоидального тока в комплексной форме.....	318
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	322
Тема 6. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	332
6.1 Передача электрической энергии по линии переменного тока.....	332
6.2 Круговая диаграмма тока неразветвлённой цепи.....	338
6.3 Анализ цепи с последовательно соединёнными катушкой и конденсатором переменной ёмкости.....	342
6.4 Анализ цепи с параллельно соединёнными катушкой и конденсатором переменной ёмкости.....	344
6.5 Компенсация реактивной мощности.....	348

6.6 Топографические диаграммы.....	354
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	358
Тема 7. ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ.....	364
7.1 Индуктивно связанные элементы цепи.....	364
7.2 Последовательное соединение индуктивно связанных элементов.....	366
7.3 Эквивалентная схема индуктивно связанных элементов с общей точкой.....	374
7.4 Воздушный трансформатор.....	376
7.5 Схема замещения воздушного трансформатора.....	380
АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ.....	384

Введение

Теоретические основы электротехники являются фундаментальной дисциплиной, на базе которой изучаются все остальные электротехнические дисциплины учебного плана специальности.

В свою очередь, теоретические основы электротехники базируются на физике и высшей математике.

Особую роль играют знания физических явлений и законов, в частности семи электромагнитных явлений: электризации тел, взаимодействия зарядов, электрического тока, теплового действия электрического тока, электромагнетизма, электромагнитной индукции, электромагнитной силы. Поэтому в учебнике приведены основные выходные знания этих явлений и законов.

Учебник написан таким образом, чтобы студенты имели возможность самостоятельно изучить курс теоретических основ электротехники. Для этого материал излагается так, что наряду с теоретическими положениями приводится их практическое применение для решения задач. В конце каждого раздела темы даются вопросы и задания для самоконтроля. По каждой теме приведен алгоритм её изучения на трёх уровнях: информационно-репродуктивном, практически-стереотипном и логически-понятийном. Экспериментальные исследования предлагается провести самим студентам, для чего они самостоятельно по условию составляют принципиальную электрическую схему экспериментальной установки, по заданию продумывают, как необходимо провести эксперимент и выполнить анализ полученных результатов.

Материал изложен на русском и украинском языках, что позволяет, во-первых, учесть языковую подготовку студента, во-вторых, даёт возможность русскоязычным студентам изучить украинский технический язык.

Для успешного изучения курса теоретических основ электротехники необходимо последовательно и ритмично выполнять программу изучения тем, добиваясь полного понимания излагаемого материала, не пропуская ни одного раздела, так как курс теоретических основ электротехники является цельным и непрерывным.

Вступ

Теоретичні основи електротехніки є фундаментальною дисципліною, на базі якої вивчаються всі інші електротехнічні дисципліни навчального плану спеціальності.

В свою чергу, теоретичні основи електротехніки базуються на фізиці та вищій математиці.

Особливе значення мають знання фізичних явищ та законів, зокрема, семи електромагнітних явищ: електризації тіл, взаємодії зарядів, електричного струму, теплової дії електричного струму, електромагнетизму, електромагнітної індукції, електромагнітної сили. Тому в підручнику наведені основні знання цих явищ та законів.

Підручник написаний таким чином, щоб студенти мали можливість самостійно вивчати курс теоретичних основ електротехніки. Для цього матеріал викладається так, що поряд з теоретичними положеннями наводиться їх практичне застосування для вирішення задач. В кінці кожного розділу теми даються запитання і завдання для самоконтролю. З кожної теми наведено алгоритм її вивчення на трьох рівнях: інформаційно-репродуктивному, практично-стереотипному і логічно-понятійному. Експериментальні дослідження пропонується провести самим студентам, для чого вони самостійно за умовою складають принципову електричну схему експериментальної установки, за завданням продумують, як необхідно провести експеримент і зробити аналіз отриманих результатів.

Матеріал викладено російською і українською мовами, що дає можливість, по-перше, врахувати мовну підготовку студента, по-друге, дає можливість російськомовним студентам вивчити українську технічну мову.

Для успішного вивчення курсу теоретичних основ електротехніки необхідно послідовно і ритмічно виконувати програму вивчення, прагнучи повного розуміння викладеного матеріалу, не минаючи жодного розділу, тому що курс теоретичних основ електротехніки є цілним та безперервним.

ТЕМА 1

ЛИНЕЙНЫЕ НЕРАЗВЕТВЛЁННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1. Явление электризации тел и закон сохранения заряда

Явление электризации тел. Вещества, из которых состоит окружающий нас мир, состоят из простых элементов – атомов. Каждый атом состоит из ядра, вокруг которого по орбитам вращаются электроны. Ядро находится в центре атома, заряжено положительно, оно состоит из протонов (имеют положительный заряд) и нейтронов (не имеют заряда). Электроны заряжены отрицательно и движутся на большом расстоянии от ядра (если представить себе атом размером с 10-копеечную монету, то расстояние между ядром и ближайшими электронами будет равно 1 км).

В обычном состоянии все тела электрически нейтральны, т.е. число электронов в любом теле равно числу протонов в нём, поэтому сумма всех отрицательных зарядов в теле равна сумме всех положительных зарядов. При плотном соприкосновении двух тел (расстояние между телами примерно равно расстоянию между атомами или молекулами тела) электроны, входящие в состав атомов одного тела, могут переходить к атомам другого тела вследствие того, что энергия связи их с ядром в атомах различных химических элементов может быть неодинаковой. В результате одно тело теряет некоторое количество электронов и заряжается положительно, а другое тело получает эти электроны и заряжается отрицательно. Следовательно, **электризация тела заключается в потере или приобретении телом некоторого количества электронов.** Электрические заряды не создаются и не исчезают, они только могут переходить от одного тела к другому.

Закон сохранения электрических зарядов состоит в том, что алгебраическая сумма зарядов системы не изменяется со временем.

Математическая запись закона выглядит так:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}, \quad (1.1)$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – заряды, Кл.

Пример 1.1

В замкнутой системе имеются два тела. Первое тело имеет заряд +0,1 Кл. Второе тело нейтрально. В результате взаимодействия этих тел второе тело отдало первому заряд –0,1 Кл. Как зарядились тела? Проверьте закон сохранения заряда.

Решение.

До взаимодействия закон сохранения заряда запишется так:

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= \text{const}, \\ 0,1 + 0 &= 0,1. \end{aligned}$$

После взаимодействия первое тело стало нейтральным, а второе тело приобрело заряд +0,1 Кл. Поэтому после взаимодействия закон сохранения заряда запишется так:

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= \text{const}, \\ 0 + 0,1 &= 0,1. \end{aligned}$$

ТЕМА 1

ЛІНІЙНІ НЕРОЗГАЛУЖЕНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1. Явище електризації тіл і закон збереження заряду

Явище електризації тіл. Речовини, з яких побудовано навколишній світ, складаються з простих елементів – атомів. Кожний атом складається з ядра, навколо якого по орбітах обертаються електрони. Ядро знаходиться в центрі атома і заряджено позитивно, воно складається з протонів (мають позитивний заряд) і нейтронів (не мають заряду). Електрони заряджені негативно і рухаються на великій відстані від ядра (якщо уявити собі атом розміром з 10-копійчану монету, то відстань між ядром і найближчими електронами буде дорівнювати 1 км).

У звичайному стані всі тіла електрично нейтральні, тобто кількість електронів у будь-якому тілі дорівнює кількості протонів у ньому, тому сума всіх негативних зарядів у тілі дорівнює сумі всіх позитивних зарядів. При щільному зіткненні двох тіл (відстань між тілами приблизно дорівнює відстані між атомами або молекулами тіла) електрони, що входять до складу атомів одного тіла, можуть переходити до атомів іншого тіла внаслідок того, що енергія зв'язку їх з ядром в атомах різних тіл може бути неоднаковою. У результаті одне тіло втрачає деяку кількість електронів і заряджається позитивно, а інше тіло одержує ці електрони і заряджається негативно. Отже, **електризація тіла полягає у втраті або придбанні тілом деякої кількості електронів.** Електричні заряди не створюються і не зникають, вони тільки можуть переходити від одного тіла до іншого.

Закон збереження електричних зарядів полягає в тому, що алгебраїчна сума зарядів системи з часом не змінюється.

Математичний запис закону виглядає так:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}, \quad (1.1)$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – заряди, Кл.

Приклад 1.1

У замкнутій системі є два тіла. Перше тіло має заряд +0,1 Кл. Друге тіло нейтральне. У результаті взаємодії цих тіл друге тіло віддало першому заряд –0,1 Кл. Як зарядились тіла? Перевірте закон збереження заряду.

Рішення.

До взаємодії закон збереження заряду запишеться так:

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= \text{const}, \\ 0,1 + 0 &= 0,1. \end{aligned}$$

Після взаємодії перше тіло стало нейтральним, а друге тіло придбало заряд +0,1 Кл. Тому після взаємодії закон збереження заряду запишеться так:

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= \text{const}, \\ 0 + 0,1 &= 0,1. \end{aligned}$$

Введём понятие *точечного заряда*, под которым будем понимать *заряженное тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь*. Поэтому реальное тело с совокупностью огромного количества элементарных зарядов (рис.1.1) можно условно заменить точкой с зарядом (рис.1.2), который равен сумме элементарных зарядов этого тела (по аналогии с материальной точкой в механике).

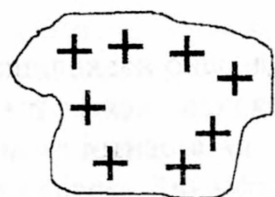


Рис.1.1

$$+ \bullet \quad q = \sum_1^n q_i$$

Рис.1.2

Вопросы для самоконтроля

1. В чём суть явления электризации тел?
2. Сформулируйте закон сохранения заряда.
3. Выполните математическую запись закона.
4. Дайте определение точечного заряда.

Задания для самоконтроля

1. Тело потеряло 20 Кл отрицательного заряда. Какой заряд приобрело это тело?
2. Тело приобрело 30 Кл отрицательного заряда и 30 Кл положительного заряда. Какой результирующий заряд приобрело это тело?

1.2. Явление взаимодействия заряженных тел и закон Кулона

Явление взаимодействия заряженных тел открыл французский физик Шарль Дюфе в 1730 году. Оно заключается в том, что между заряженными телами существуют силы притяжения или отталкивания: тела, имеющие заряд одного знака, отталкиваются; а тела, имеющие заряд разного знака, притягиваются (рис.1.3).

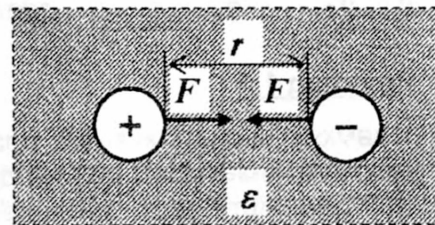
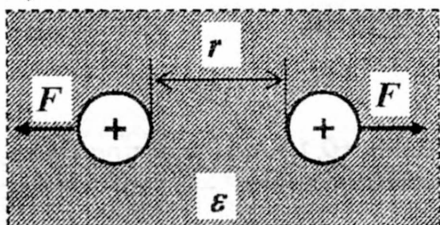


Рис.1.3

Заряженные тела взаимодействуют посредством **электрического поля**, которое существует вокруг них и представляет собой особую форму материи.

Закон взаимодействия заряженных тел экспериментально открыл французский физик Шарль Кулон в 1785 году и он носит его имя. Формулируется он так: два неподвижных точечных электрических заряда взаимодействуют с силой, прямо пропорциональной произведению этих зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними и диэлектрической проницаемости среды.

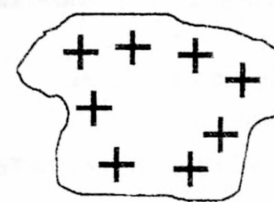


Рис.1.1

$$+ \bullet \quad q = \sum_1^n q_i$$

Рис.1.2

Запитання для самоконтролю

1. У чому суть явища електризації тіл?
2. Сформулюйте закон збереження заряду.
3. Виконайте математичний запис закону.
4. Дайте визначення точкового заряду.

Завдання для самоконтролю

1. Тіло втратило 20 Кл негативного заряду. Який заряд придбало це тіло?
2. Тіло придбало 30 Кл негативного заряду і 30 Кл позитивного заряду. Який результируючий заряд придбало це тіло?

1.2. Явище взаємодії заряджених тіл і закон Кулона

Явище взаємодії заряджених тіл відкрив французький фізик Шарль Дюфе в 1730 році. Воно полягає в тому, що між зарядженими тілами існують сили притягання або відштовхування: тіла, що мають заряд одного знаку, відштовхуються; тіла, що мають заряд різного знаку, притягуються (рис.1.3).

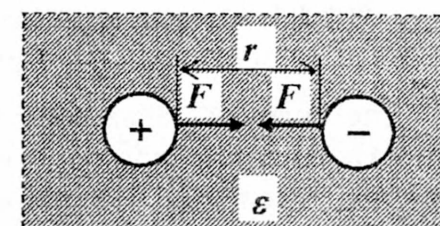
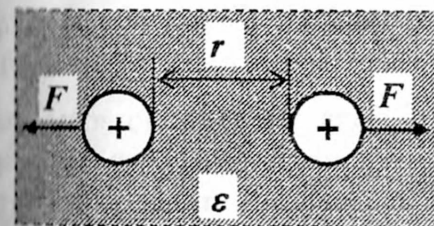


Рис.1.3

Заряджені тіла взаємодіють за допомогою **електричного поля**, що існує навколо них і є особливою формою матерії.

Закон взаємодії заряджених тіл експериментально відкрив французький фізик Шарль Кулон у 1785 році і він має його ім'я. Формулюється він так: два нерухомих точкових електричних заряди взаємодіють із силою, прямо пропорційною добутку цих зарядів і зворотно пропорційною квадрату відстані між ними і діелектричній проникності середовища.

Математическая запись закона Кулона (в скалярной форме):

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}, \quad (1.1)$$

где F — сила взаимодействия между точечными зарядами, Н;
 q_1, q_2 — точечные заряды, Кл;
 r — расстояние между точечными зарядами, м;
 ε_0 — электрическая постоянная, Ф/м;
 ε — относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды.

$$[F] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Пример 1.2

Два точечных заряда $q_1 = +4\pi \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -8,85 \cdot 10^{-6}$ Кл находятся в среде с диэлектрической проницаемостью в 20 раз большей, чем в вакууме, на расстоянии 0,1 м друг от друга. Как и с какой силой будут взаимодействовать указанные заряды?

Решение.

Заряды будут притягиваться друг к другу (рис. 1.3а) с силой, которую находим по формуле (1.2):

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-6} \cdot 8,85 \cdot 10^{-6}}{4\pi \cdot 20 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1^2} = 5 \text{ Н}.$$

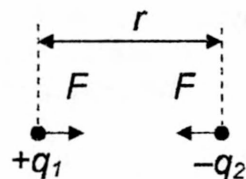


Рис. 1.3а



Рис. 1.4

Для силовой характеристики электрического поля введено понятие **напряжённости** электрического поля в данной точке, под которой понимается **физическая величина, численно равная отношению силы, с которой поле действует на пробный заряд, помещённый в данную точку поля, к значению этого заряда**, т.е.

$$E = \frac{F}{q_{\text{пр}}}, \quad (1.2)$$

где E — напряжённость, В/м;
 F — сила, Н;
 $q_{\text{пр}}$ — пробный заряд, Кл.

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Математичний запис закону Кулона (у скалярній формі):

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}, \quad (1.2)$$

де F — сила взаємодії між точковими зарядами, Н;
 q_1, q_2 — точкові заряди, Кл;
 r — відстань між точковими зарядами, м;
 ε_0 — електрична постійна, Ф/м;
 ε — відносна діелектрична проникність середовища, у якому знаходяться заряди.

$$[F] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\frac{\text{В}}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

Електрична постійна $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Приклад 1.2

Два точкових заряди $q_1 = +4\pi \cdot 10^{-6}$ Кл і $q_2 = -8,85 \cdot 10^{-6}$ Кл знаходяться в середовищі діелектричною проникністю в 20 разів більшою, ніж у вакуумі, на відстані 0,1 м один від одного. Як і з якою силою будуть взаємодіяти зазначені заряди?

Рішення.

Заряди будуть притягатися один до одного (рис. 1.3а), яку знаходимо за формулою (1.2)

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-6} \cdot 8,85 \cdot 10^{-6}}{4\pi \cdot 20 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1^2} = 5 \text{ Н}.$$

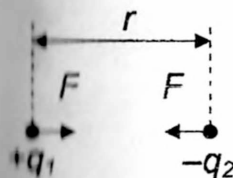


Рис. 1.3а



Рис. 1.4

Для сигової характеристики електричного поля введено поняття **напруженос-ти** електричного поля в даній точці, під якою розуміється **фізична величина, яка численно дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на пробний заряд, поміщений у дану точку поля, до значення цього заряду**, тобто

$$E = \frac{F}{q_{\text{пр}}}, \quad (1.3)$$

де E — напруженість, В/м;
 F — сила, Н;
 $q_{\text{пр}}$ — пробний заряд, Кл.

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$